Elektronenmikroskopische Beobachtungen über Anastomosen im Zentralnervensystem

von

Etzard Schwalbe

aus Obercrinitz

Erlangen 1963

1963 Mo 125

Aus dem Anatomischen Institut der Universität
Erlangen-Nürnberg. Direktor: Prof. Dr. K. Fr. Bauer

Elektronenmikroskopische Beobachtungen über Anastomosen im Zentralnervensystem

Inaugural-Dissertation
zur
Erlangung der Doktorwürde
der
Hohen Medizinischen Fakultät
der
Friedrich-Alexander-Universität
zu
Erlangen-Nürnberg

vorgelegt von
Etzard Schwalbe
aus Obercrinitz

Gedruckt mit Erlaubnis der Medizinischen Fakultät der
Universität Erlangen-Nürnberg

R. UNIV.
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

Dekan: Professor Dr. G. Theissing
Referent: Professor Dr. K. Fr. Bauer
Tag der mündlichen Prüfung: 15.11.1963

Inhaltsverzeichnis

I.	Die Problemlage	S. 1
II.	Der Membranbegriff und die Definition der Zellverbindungen.	S. 7
III.	Material und Methode	S. 11
IV.	Anastomosen im licht- und elektronenmikroskopischen Bild.	S. 14
V.	Die vermutliche Funktion der Anastomose.	S. 21
	Literaturverzeichnis	

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41536505_0108

I. Die Problemlage

Als Max Schultze und Ernst Brücke vor einem Jahrhundert die Aufmerksamkeit zum ersten Male auf die eminente Bedeutung des Protoplasmas (Purkinje 1840) für das Leben der Zelle hinlenkten, war die Zellenlehre durch die Arbeiten Schleidens und Schwanns, die selbst in der Zelle nur einen organischen Kristall erblickten, bereits weit verbreitet. Wir wissen ihre Bedeutung als Ordnungslehre innerhalb der Histologie zu schätzen. Doch deutlich und einengend sind heute ihre Grenzen zu spüren. Aber noch immer wird die Frage gestellt, ob im Organismus syncytiale Verbindungen tatsächlich vorhanden sind (Bargmann 1958).

An Kritik zur Zellenlehre hat es nie gefehlt. Heidenhain (1928) erkannte ihre Unzulänglichkeit und versuchte mit seiner Histomerentheorie, den durch die Zellenlehre eingeengten Horizont der Histologie zu erweitern. K. Fr. Bauer und E. Müller (1959) sprechen sich in einer allgemeinen Kritik an der Zellenlehre für eine umfassende Histo morphologie aus. Nach Abschluß der Zöiomation sind zwei gegenstrebige Prozesse zu beobachten: die Tendenz zur Bildung abgeschlossener Kern-Plasma-Komplexe (Blutbildung, Entzündung, Neoplasmen) und die Tendenz zur Bildung höherer Gewebseinheiten, der Encytien.

Auf das Nervensystem angewandt spezialisiert sich die Lehre von der isolierten Struktur der Zelle in der Neuronentheorie, die Waldeyer 1891 in seinem bekannten Satz

formuliert: "Das Nervensystem besteht aus zahlreichen untereinander anatomisch wie genetisch nicht zusammenhängenden Nerveneinheiten (Neuronen)." Die Forderung nach Diskontinuität und Informationsweitergabe erfüllt die Synapse, an deren Membranen sich die Erregungsübertragung von der prae- auf die postsynaptische Faser oder das Perikaryon abspielen soll. Obwohl Horstmann (1956) eigens auf den rein hypothetischen Bau dieser Kontaktzone hingewiesen hat, wird ihre angebliche Struktur anhand elektronenoptischer Aufnahmen schematisiert (Hild 1959, De Robertis 1961). Die Grundlage der Neuronentheorie ist die Forderung nach morphologischer Isolierung der Nervenzelle, nach Kontiguität. Das Auftreten von Zellanastomosen in der Embryonalentwicklung und im ausgereiften Nervensystem würde demnach die Theorie widerlegen.

Seit der Einführung der histologischen Färbetechnik durch Joseph von Gerlach, der von 1850 - 1891 in Erlangen Ordinarius für Anatomie war, wurde die Kontinuität der nervösen Elemente in allen Gebieten des Nervensystems nachgewiesen. Mit seinen beschränkten Mitteln, der Carminfärbung und der Goldchloridimpragnation, erkannte Gerlach nicht nur den kontinuierlichen Zusammenhang der nervösen Elemente, sondern auch die protoplasmatische Einheit zwischen den verschiedenen Geweben (Nerv und Muskel). Nach Untersuchungen am Nervensystem bei Hirudo beobachtete Apathy (1897-1907), daß die Neurofibrille ohne Unterbrechung

von den Receptoren durch das zentrale Nervensystem zum Erfolgsorgan zieht. Bethe bestätigte diese Tatsache und ergründete mit eigenen histologischen und physiologischen Methoden die Verhältnisse bei höher entwickelten Tieren, die ein noch komplizierteres Neurofibrillennetz aufweisen.

In Anlehnung an die Beobachtungen von Hensen (1903) beschrieb Held (1909, 1929) in frühembryonalen Stadien ein Neuroretikulum, mit dessen Hilfe sich die junge Neuroblastenzelle durch feine Plasmodesmen nicht nur mit anderen Neuroblasten sondern auch mit sonstigen Zellen der Umgebung verbindet. Am ausgereiften Gehirn beobachtete er die Bildung von zahlreichen "Endfüßchen" an Ganglienzellkörpern. Diese knopfartigen Gebilde entsprechen den Knotenpunkten eines feinen pericellulären Terminalretikulums. In Erweiterung seiner ursprünglichen Erkenntnisse betrachtete sie Held als die umschriebenen Durchtrittsstellen der in das Innere der Zelle eindringenden Neurofibrillen. Aber damit erschöpft sich nicht die nervöse Kontinuität. In den Räumen des Nisslschen Graues breitet sich ein Grundnetz aus (blasses Syncytium, dritte Substanz), welches aus den Fortsätzen der Nerven- und Gliazellen besteht. Die Bauprinzipien dieser Formation werden von K. Fr. Bauer nach seinen Untersuchungen mit einer verbesserten Silberimprägnation (1944), der Metallbeschattung (1951) und an der Zellkultur (1932-1937, 1954) eingehend charakterisiert (1948, 1953).

Neben dieser zentralen Kontinuität existiert eine periphere, wie sie besonders für das vegetative System erforscht wurde. J. Boekes Untersuchungen über den "sympathischen Grundplexus" und die weltweit anerkannten Arbeiten von Stöhr jr., Reiser, E. Hagen und ihren Schülern beweisen in größter Übereinstimmung die encytiale Einheit zwischen den nervösen Elementen, dem Nebenzellplasmodium und den Erfolgszellen (Terminalretikulum). Landau (1946, 1956) berichtet über fibrilläre Anastomosen zwischen Ganglienzellen der Netzhaut. Neurofibrillen ziehen ohne Unterbrechung aus der einen Horizontalzelle in die benachbarte. Am Herzen wurde eine direkte plasmatische Kontinuität zwischen Purkinjefasern und der eigentlichen Herzmuskulatur beschrieben (Kugler und Parkin 1956). Pirro (1960) nimmt an, daß die Kontraktionsimpulse durch diese multiforme, gut organisierte Kontinuität direkt auf die Muskulatur übertragen werden. Eine große Zahl weiterer Einzelbefunde über nervöse Anastomosen sind in dem Handbuchbeitrag von Reiser (1959) aufgeführt.

Diese Ergebnisse decken sich mit den Erkenntnissen, die aus in vitro-Kulturen von Nervengeweben gewonnen wurden. Nach 24 - 48 Stunden Bebrütung schließen sich die an der Schnittkante austretenden Nervenfasern zu einem dreidimensionalen, kernlosen Gitter zusammen, das mit sekundär einwandernden Neuroblasten und undifferenzierten Glioneurozyten Verbindung aufnimmt. Diese echten Anastomosen wurden

einwandfrei nachgewiesen (Esaki 1929, Levi 1934, 1956, Oddo 1942, Hild 1954). K. Fr. Bauer (1932) und Levi und Godina (1960) sahen einen Austausch von Zellbestandteilen über die Neurodesme. Auch mit anderen Zellarten anastomosieren lebende Nervenzellen, wie es K. Fr. Bauer (1932) zwischen sympathischen Nervenfasern und Myoblastenzellen und Keuning (1948) zwischen Neuroblasten und undifferenzierten Mesenchymzellen beobachteten.

Trotz dieser Tatsachen, die jederzeit nachgeprüft werden können, negieren die Neuronisten eine nervöse Kontinuität. Spatz (1952) und Dolgo-Saburov (1957), der selbst die große Häufigkeit von Anastomosen in Form von Dendritenbrücken beschrieben hat, glauben zwar, daß die Kontinuität nicht im Gegensatz zur Neuronentheorie steht. Es muß aber betont werden, daß das Vorkommen von plasmatischen und neurofibrillären Anastomosen die physiologische Forderung nach Trennung der Neuroneneinheiten widerlegt.

Wir wissen heute, daß die lichtmikroskopisch nachgewiesenen Anastomosen eine Tatsache sind. Wer einmal eine Zellanastomose in einem gut gefärbten Schnitt gesehen hat, wird über ihre Realität nicht mehr im Zweifel sein. Goebels (1957) erwähnt in ihren Untersuchungen über das großzellige Okulomotoriusgebiet, daß in den Neurodesmen deutlich Nisslkörper zu sehen sind. Elektronenoptische Aufnahmen zu diesem Problem lagen bis jetzt noch nicht vor. Wie Van der Zypern (1963) betont, ist in der Peripherie die

Unterscheidung markloser Nervenfasern von anderen Zytoplasmabereichen sehr schwierig. In dieser Arbeit soll nun mit Hilfe des Elektronenmikroskopes gezeigt werden, daß die anatomische Einheit vom Neuron eine Theorie ist, die jeder realen Grundlage entbehrt.

II. Der Membranbegriff und die Definition der Zellverbindungen.

Nach den Vorstellungen aus der Zellenlehre und ihrer Spezialform, der Neuronentheorie, müßte jede Zelle von einer allseitig geschlossenen Membran umgeben sein (Scharf 1951, 1960). Diese Struktur ist jedoch anatomisch nie nachgewiesen worden, und, wie Troschin (1958) in seiner Kritik an den Membrantheorien betont, kein morphologischer sondern ein physiologischer Begriff. Im Elektronenmikroskop sieht man an der Außenwand der Zelle eine etwa 50 - 100 Å dicke osmiophile Schicht, die wohl ein besonderer Funktionszustand des Protoplasmas zum angrenzenden Interzellularraum hin ist. Bis jetzt konnte die Frage nach der Präexistenz dieser Zone in der lebenden Zelle nicht geklärt werden. Horstmann (1954) kommt zu dem Schluß, daß eine physiologisch wirksame lebenstreue Struktur sich am fixierten Präparat wahrscheinlich überhaupt nicht zeigen läßt. Sicher ist aber, daß die etwa 1 µ dicke Lipoidmembran Scharfs (1951) unmöglich eine echte Zellmembran sein kann, worauf bereits K. Fr. Bauer (1953) hingewiesen hat. Wo sind Membranen überhaupt mit Sicherheit nachzuweisen?

1.) Im Phasenkontrastmikroskop ist tatsachlich an lebenden Zellen eine Membran zu erkennen, nämlich die Kernmembran. Sie besteht aus zwei Teilen: Die innere Membran ist relativ glatt und hat eine Dicke von 130 Å. (Hartmann

1953, 1954, Palay und Palade 1955). Sie ist kontinuierlich und trennt die Reaktionsräume von Kern und Zytoplasma. Mehr gewellt dagegen verläuft die äußere Membran in einer Dicke von 75 Å, die Verbindungen zum endoplasmatischen Retikulum aufweist. Durch Poren stehen Nukleo- und Zytoplasma miteinander in Verbindung.

2.) Gewisse lebenden Zellen werden ganz oder teilweise von einem Häutchen umschlossen, das im allgemeinen ein Sekretionsprodukt des Zytoplasmas ist und mit physikalischen (Mikromanipulation) oder chemischen (Fermente) Methoden entfernt werden kann. Chambers (1961) nennt diese Strukturen "extraneous coats". Solche extraplasmatischen Membranen sind die Zellulosewand der Pflanzenzelle, das Sarkolemm der Skeletmuskelfaser, die Zona pellucida des Ovums und andere.

3.) Eine dritte Art von Membranen umgibt nicht eine einzelne Zelle, sondern eine ganze Gewebseinheit. Als Beispiel dazu kann die Membrana limitans gliae perivascularis et superficialis (Held) genannt werden, die als eine physiologisch wirksame Schranke zwischen Blut und Gehirn aufgefaßt werden muß. Nähere Angaben über Bau und Funktion dieses Organs finden sich bei K. Fr. Bauer (1953).

Im tierischen Organismus sind die Zellen nicht durch Membranen voneinander getrennt. Die Zelle, die als Klümpchen von Protoplasma mit einem Kern definiert werden kann (O. Hertwig 1893), ist vielmehr durch protoplasmatische

Brücken (Plasmodesmen, Anastomosen) mit anderen verbunden. Ein höher differenziertes Gewebe ist kein Zellenstaat, sondern ein syncytialer oder plasmodialer Verband von Zellen. Bei Vereinigung der Zytoplasmen verschiedener Zellqualitäten entstehen Gewebe höherer Ordnung, Encytien. Im Zentralnervensystem anastomosieren Fortsätze der Nerven- und Gliazellen im sogenannten Neurencytium und bei der peripheren Innervation dringt eine Komponente des Neuroplasmas, die Neurofibrille, in die zu innervierende Zelle ein.

Plasmodesmen wurden elektronenoptisch in den verschiedensten Geweben nachgewiesen. In der menschlichen Placenta (Bargmann und Knoop 1959) und in der Labyrinthregion der Rattenplacenta (Schiebler und Knoop 1959) wurde die Anwesenheit eines Syncytiotrophoblasten bestätigt. Thaemert (1959) beobachtete 0,7 µ breite Interzellularbrücken in der glatten Muskulatur des Rattendarmes. Ähnliches beschrieben Reger, Smith und Schopp (1960) an Muskelfasern aus der Iris von Alligator. Bei Drosophila entstehen Interzellularbrücken (Fusome) im Hoden und im Ei-Nährzellverband (Meyer 1961 und andere). An Melanozyten aus der Epidermis wurde eine Wanderung der Melaninkörnchen von einer Zelle in die andere, also ein echter Substanzaustausch, elektronenoptisch nachgewiesen (Charles und Ingram 1959). Eine besondere Form der Zellverbindung soll beim Epithel beobachtet werden. In den beschriebenen

Zellbrücken berühren sich angeblich die Zellen in einer Kontaktzone, in die Tonofilamente einstrahlen. Die Autoren (Horstmann und Knoop 1958, Petry, Overbeck und Vogell 1961 und andere) stellen sich somit gegen die Anschauungen zahlreicher Histologen, die lichtmikroskopisch die syncytiale Struktur des Stratum spinosum als bewiesen betrachten (Literatur bei Hoepke 1927, Abulafia 1950). Auch in der Gewebekultur wurde eine Kontinuität in den epithelialen Geweben bestätigt (K. Fr. Bauer 1954).

Im Gegensatz zu diesen Beobachtungen beweisen unsere Untersuchungen elektronenmikroskopisch das häufige und unzweifelhafte Vorkommen von Anastomosen zwischen den Elementen des Zentralnervensystems.

III. Material und Methode

Es wurden die Hirnrinden von neugeborenen, drei, fünf, sechs, acht, vierzehn, siebzehn Tage alten und erwachsenen weißen Mäusen elektronenmikroskopisch untersucht. Nach der Dekapitation wurden Teile des Stirn- und Parietallappens entnommen, unmittelbar in isotonische, gepufferte Osmiumsäure pH 7,2 (Palade 1952) gebracht und darin zurechtgeschnitten. Die Gewebsstückchen von etwa 2 mm Kantenlänge wurden anschließend in frische Fixationslösung übertragen und bei einer Temperatur von $4^{\circ}C$ fixiert. Die Dauer der Fixation betrug zwei Stunden. In dieser Zeit wird das Material ausreichend durchfixiert. Andres (1962) erzeugte bei Ratten eine akute Anoxie und stellte fest, daß erste Veränderungen im Nukleoplasma nach 15-20 Minuten einsetzen. Eine postmortale Zytolyse wurde durch die unmittelbare Fixation nach Tötung der Tiere verhindert.

Nach den Untersuchungen von Bahr (1954) reagiert OsO_4 mit Fetten, Lipoiden und Lipiden, die eine Doppel- oder Dreifachbindung aufweisen, und mit Aminosäuren, Peptiden und Proteinen mit den endständigen Gruppen -S-, -SH, $\equiv$N, $-NH_2$, -OH und -CHO. Keine Reaktion zeigen dagegen alle Saccharide und ihre Polymere sowie Nukleinsäuren. Eine Zellmembran, die aus gerichteten Molekülen von Proteinen und Lipoiden bestehen soll, kann deshalb mit OsO_4 gut fixiert und dargestellt werden. Bei zu langen Fixationszeiten werden vor allem Proteine durch den Veronal-

Acetatpuffer extrahiert. Es wurde deshalb eine erprobt optimale Fixierungsdauer gewählt, um die spezifische Substanzextraktion zu verhindern (Literatur bei Porter und Kallman 1953, Low 1954).

Nach der Fixation wurde das Material in Tyrodelösung mehrmals gewaschen und durch die stufenweise ansteigende Alkoholreihe (jede Alkoholkonzentration dreimal gewechselt) vorsichtig entwässert.

Zur Einbettung diente ein Gemisch aus Butyl- und Methylmethacrylat 8 : 2 mit 0,2 % Benzoylperoxydinitiator. Das kaufliche, mit Hydrochinon stabilisierte Methacrylat wurde in einem Scheidetrichter mit 10 %iger NaOH entstabilisiert und anschließend mit destilliertem Wasser die Natronlauge ausgewaschen. Um die Spuren des Wassers zu entfernen blieb das Methacrylat 24 Stunden über $CaCl_2$ stehen. Die Präparate wurden nach der Entwässerung in einer Mischung von Einbettungsmethacrylat und absolutem Alkohol 1 : 1 durchtränkt und dann in das reine Einbettungsmittel übertragen. Nach mehrmaligem Wechsel dieser Flüssigkeit bringt man jedes Gewebsstückchen in eine mit Methacrylat gefüllte Gelatinekapsel und polymerisiert im Thermostaten bei 59°C während 24 Stunden.

Die Dünnschnitte wurden an dem Ultramikrotom nach Fernandez-Moran und dem LKB-Ultrotome 4800A mit Glasmessern hergestellt.und auf mit Formvarfilmen überzogenen Kupfernetzblenden aufgefangen. Sie wurden am Siemens-

Elektronenmikroskop Elmiskop I bei einer Strahlspannung von 80 kV untersucht.

Zum Vergleich wurde das Gehirn einer 5 Tage alten Maus in SUSA-Lösung fixiert, in Paraffin eingebettet und die etwa 12 µ dicken Schnitte nach der Nissl-Methode mit 1 % Thionin pH 4,5 gefärbt.

Zur lichtmikroskopischen Demonstration der Anastomosen diente das Rautenhirn eines Kalbes nach Formolfixation und Paraffineinbettung. An den Schnitten wurde die Silberimprägnation nach Bodian durchgeführt. Die Mikrofotogramme wurden am Zeiss-Fotomikroskop auf Adox-KB14-Film aufgenommen.

IV. Anastomosen im licht- und elektronenmikroskopischen Bild.

Das Untersuchungsmaterial für die abgebildeten Paraffin- und Methacrylatschnitte wurde ausschließlich dem Gehirn junger Tiere entnommen, denn in der frühen Ontogenese liegen die Ganglienzellen noch sehr dicht beieinander. Durch die daraus entstehende hohe Zellzahl pro Volumeneinheit ist der Nachweis von Kontinuität oder Kontiguität einfacher als im hochentwickelten ausgereiften Griseum.

Abbildung 1 zeigt eine lichtmikroskopische Photographie aus dem Großhirn einer fünf Tage alten weißen Maus. Mit der Nisslfärbung werden Kern- und Tigroidsubstanzen in der Zelle angefärbt. Damit können aber die dichte Lagerung der Kerne und die Zytoplasmaarmut der jungen Glioneurozyten deutlich dargestellt werden. Im Verlaufe der Einzelentwicklung dringt das sich ausbreitende Grundnetz aus Neuriten, Dendriten und Gliazellfortsätzen zwischen die Zellen ein und drängt sie auseinander. Nach den Untersuchungen von K. Fr. Bauer scheint die steigende Funktion während der Ontogenese und Phylogenese "weniger an die steigende Zellzahl innerhalb eines Griseums gebunden zu sein als vielmehr an dessen Fähigkeit zur Entwicklung großer zwischenzelliger Räume, zustandekommend durch zunehmende Zelldistanzierung, und somit zur Entfaltung außerneuronaler zwischenzelliger Organisation in Gestalt

des blassen Syncytiums und großer Neurofibrillenquantitäten"(K. Fr. Bauer 1953). Diese Beobachtungen wurden von Haug (1952, 1956) durch die Berechnung des Grauzellkoeffizienten bestätigt. Die weiße Maus zeigt im elektronenmikroskopischen Bild bereits zwei Wochen post partum eine deutliche Dislokation der Zellkerne, die der des erwachsenen Tieres ähnelt. Das ergeben auch die Untersuchungen von Haddara (1956), der nach Färbung mit Gallocyanin in der Sehrinde der Maus eine signifikante Abnahme der Neuronendichte bis zum 17. Tag nach der Geburt feststellt.

Tatsächlich sind neuro- und glioplasmatische Anastomosen bei jungen Individuen häufig zu sehen. So beobachtete Hermann (1950, 1951) an Herzganglien und am Ganglion nodosum des Menschen direkt anastomosierende Nervenzellen innerhalb des ersten Lebensjahres. Später erfolgt die scheinbare Kontinuitätstrennung. Die plasmatische Verbindung geschieht dann über die fibrillären Verbreiterungen der kurzen Fortsätze.

Abbildung 2 zeigt zwei miteinander anastomosierende Nervenzellen aus dem Rautenhirn des Kalbes. Die Neurodesme ist enorm breit, etwa 4 µ. In ihr ziehen dünne Neurofibrillen von einer Zelle in die andere. Mehrere Fibrillenbündel überkreuzen die Anastomose senkrecht. Durch Drehen am Feintrieb des Mikroskopes sind Überkreuzung und Anastomose leicht zu unterscheiden. Beim Überkreuzen liegen die beteiligten Fasern in verschiedenen optischen Ebenen,

während die Anastomose im gleichen Niveau liegt. Darauf hat bereits K. Fr. Bauer (1936) bei seinen Beobachtungen an Anastomosen in der Zellkultur hingewiesen. Allein dieses Kriterium dürfte genügen, um eine gültige Aussage über den Zusammenhang von Zellen zu geben.

Im Elektronenmikroskop werden Schnitte verwendet, deren Dicke um etwa zwei Dezimalstellen geringer ist als bei Schnitten für das Lichtmikroskop. Bei Dünnschnitten von 300 Å fällt die Frage nach Höhenunterschied und Niveaugleichheit weg. Um so eindeutiger sind die abgebildeten Verhältnisse zwischen den Zellen.

Die Aufnahme 3 zeigt vier Zellen aus dem Griseum einer neugeborenen Maus. Der Zellkern ist elektronendichter als das Zytoplasma und wird durch die Doppelmembran des Karyolemms begrenzt. Die Zellen sind plasmaarm. Strukturen des Ergastoplasmas und Mitochondrien sind in die Skizzen eingezeichnet, sollen aber nicht weiter erwähnt werden, da sie für die Fragestellung ohne Bedeutung sind. Zwischen den Kernen II und III ist eine elektronendichte membranartige Struktur zu sehen, die durch eine Lücke, sicherlich eine Anastomose, unterbrochen wird. Die unmittelbare Nähe der unverletzten Kernmembranen schließt eine Artefaktnatur durch Zerreißung aus.

Im oberen Bildteil ist zwischen den Kernen III und IV keine derartige Struktur zu entdecken. Es liegen die gleichen Verhältnisse wie in Abbildung 4 (fünf Tage alte Maus)

vor. Drei Kerne sind in eine einheitliche Protoplasmamasse eingebettet (Symplasma). Kernmembranen sind vorhanden und deutlich zu sehen, nicht aber eine Zellmembran. Beim Embryo liegen die Kerne in der Matrix der Gehirnanlage eng aneinander und sind von dichten Protoplasmaschichten symplasmaartig umgeben. Später lockern sie sich beim Vordringen in die basale Zone, der späteren Rinde, auf und sind noch durch feine Plasmodesmen miteinander verbunden (primäre Kontinuität). Tatsächlich sehen wir dieses Symplasma nur bei sehr jungen Tieren.

In Abbildung 5 (acht Tage alte Maus) ist die elektronendichte Membran sehr deutlich zu erkennen. Die Aufnahmen 4 und 5 stammen nicht aus entsprechenden Hirngegenden und außerdem von verschieden alten Tieren. Die Strukturunterschiede sind also wohl topistisch bedingt. Vier Anastomosen unterbrechen die Membran. Sie vereinigen beide Protoplasmen. Die in unmittelbarer Nähe verlaufenden doppelten Kernmembranen sind völlig intakt. Deshalb können diese Interzellularbrücken keine Artefakte sein. Zerreissungen durch das Glasmesser oder die Raumveränderungen während der Entwässerung und der Einbettung hätten sich auch auf die Kernmembranen ausgewirkt. So müßten Dislokationen einer zerrissenen Membran an den Lücken auftreten.

Vom gleichen Tier stammt der Dünnschnitt für die Abbildung 6. Durch zwei Neurodesmen verbindet sich das Protoplasma dieser Zellen. Im oberen Bildausschnitt liegen

Teile der zwischenzelligen Organisation, die einen Ausläufer zwischen die Zellen vorschiebt. Mitten im Protoplasma liegt die elektronendichte Membran, die sich in ihrem unteren Ende gabelt. Eine Interzellularbrücke von etwa 0,2 µ trennt sie von der zwischenzelligen Organisation.

Noch deutlicher sind die Zellverbindungen in Abbildung 8, die eine Detailaufnahme aus dem Bild 7 ist. Zwei Zellen mit gut sichtbaren Kernen werden von Strukturen teilweise getrennt, die zwischen ihren Grenzschichten Zytoplasma, mit großer Wahrscheinlichkeit Neuroplasma, enthalten. Die Mitochondrien sind als dunkle Körper in die plasmatische Grundsubstanz eingebettet. Zwei Zellfortsätze (Dendriten oder Neuriten) sind angeschnitten. Ihre elektronendichten Grenzschichten sind völlig unversehrt. Die Anastomosen sind breit und deutlich.

Bei älteren Mäusen (17 Tage alte und erwachsene Tiere) war es uns dagegen nicht möglich, solche einfachen Zellanastomosen zu erkennen, weil die zwischenzellige Organisation schon ausgedehnter ist und damit die Verhältnisse zwischen zwei Zellen komplizierter werden.

Auch bei der Glia läßt sich elektronenoptisch ein Syncytium beweisen. Bereits Hess (1956) beobachtete an Schwannschen Zellen syncytiale Zusammenhänge. Bargmann, v. Harnack und Jacob (1962) sahen im Nervengewebe des Seesterns Stützzellen, die eine große Ähnlichkeit mit Gliazellen hatten und deren Interzellularraum von

Cytodesmen überbrückt wird. So werden gegen die syncytiale Struktur der Glia auch kaum Einwände erhoben. Weitere Literaturhinweise sind bei K. Fr. Bauer (1953) zu finden.

Abbildung 9 zeigt vier Gliazellen aus dem Großhirn einer 5 Tage alten weißen Maus, von denen zwei Kerne ganz und zwei Kerne partiell getroffen sind. Welcher Gliazelltyp hier vorliegt, soll nicht entschieden werden, da über die Klassifizierung elektronenoptisch abgebildeter Gliazellen noch keine klare Meinung herrscht, wie die unterschiedlichen Interpretationen von Luse (1956), Schultz, Maynard und Pease (1957) und anderen zeigen. Auch sollen die einzelnen Typen fließend ineinander übergehen und weniger histogenetische Zellrassen als bestimmte Funktionszustände darstellen. Grenzen zwischen den einzelnen Zellen sind nicht zu sehen. Der Kern ist nahezu rund und an zahlreichen Stellen eingekerbt. Eine Kernmembran ist deutlich zu erkennen. Das Nukleoplasma ist wesentlich dichter als bei Ganglienzellkernen. Auch das Zytoplasma ist dicht und zeigt eine wabige Anordnung, die wir auch an Gliazellen anderer Tierarten beobachten konnten.

Bei höherer Auflösung wurden die Gliazellen der Aufnahme 10 photographiert. Das sehr dunkle Nukleoplasma, die gekerbte Kernmembran, das dunkle Zytoplasma gleichen den Zellen in der vorigen Abbildung. Nur sieht man hier mit größerer Deutlichkeit, daß beide Kerne sicher ein gemeinsames Protoplasma besitzen, in dem sich nur andeutungsweise

Membranen erblicken lassen. Sie trennen aber niemals die Zellterritorien voneinander.

Ein nervöses und gliöses Kontinuum ist im Zentralnervensystem mit Sicherheit anzunehmen. Die Zelle erweist sich als lokale Substanzverdichtung in einem kontinuierlichen Raumgitter (K. Fr. Bauer 1953). Die nunmehr auch elektronenoptisch nachgewiesenen Neurodesmen (primäre Kontinuität) sind der histogenetische Anfang der zwischenzelligen Organisation und werden schließlich durch die Kontinuität im Neurencytium ersetzt und vervollkommnet.

V. Die vermutliche Funktion der Anastomose

Die Anastomose ist nicht der Ort einer stabilen sondern der einer dynamischen Kontinuität. An dieser Stelle findet ein Substanzaustausch statt, der in der Nervengewebskultur mit Sicherheit nachgewiesen wurde (K. Fr. Bauer 1932, Levi und Godina 1960 und andere). Abbildung 11 zeigt drei Axone aus der Peripherie einer Nervenkultur. Durch die Neurodesmen vermischen sich die drei verschieden gefärbten Zytoplasmen der Nervenfasern. Dieser Vorgang ist im Gebiet der zwischenzelligen Organisation von größter Bedeutung. In dieser Region verbinden sich Neuroblasten und Spongioblasten untereinander durch Glioneurodesmen und bilden somit durch kontinuierliches Zusammenfließen der verschiedenen Protoplasmen eine neue, "dritte" Substanz.

Das Kennzeichen des erregungsleitenden Zytoplasmas ist die Neurofibrille, deren Realität in jüngster Zeit durch phasenkontrastmikroskopische (Eichner 1956, Deitch und Murray 1956, Geiger 1958) und elektronenmikroskopische Beobachtungen (Hartmann 1953, De Robertis 1954, 1961) bestätigt wurde. Sowohl in den Gewebskulturen als auch in silberimprägnierten Gewebsschnitten ist sie besonders deutlich in den Neurodesmen zu sehen. Die schematische Abbildung 12 deutet die Anastomose als den Ort des Fibrillenaustausches innerhalb des Neurencytiums. Von beiden Nervenfasern ziehen Neurofibrillen durch die Anastomose

in das andere Zytoplasma (encytiale Potenz der Neurofibrillen). Die Innervation durch die Neurofibrillen über eine Anastomose ist also ein intraplasmatischer Vorgang.

In den letzten Jahren wurde von einer Reihe von Physiologen erhebliche Kritik an den Membrantheorien geübt (Troschin 1958, Segal 1958 und andere). Die Erregungsbildung und -weiterleitung geschieht nach diesen Einwänden nicht durch De- und Repolarisation einer fiktiven Membran, sondern durch Änderungen in der Plasmachemie und -physik. Damit kann die Reizübertragung auf das andere Zytoplasma durch eine Anastomose auch physiologisch ausreichend erklärt werden. Die Neurofibrille dürfte dabei als spezifische Plasmakomponente eine besondere Rolle spielen.

Literaturverzeichnis

Abulafia, J.: Sobre la naturaleza de las conaxiones intercellulares en la epidermis: puentes intercellulares y nodulos de Ranvier. Arch. Histol. norm. y Pat. 4, 155-168 (1950)

Andres, K. H.: Elektronenmikroskopische Untersuchungen an normalen und experimentell veränderten Spinalganglienzellen von Ratten. Anat. Anz. 109, Erg.-H., 816-819 (1962)

Apathy, St.: Bemerkungen zu den Ergebnissen Ramon y Cajals hinsichtlich der feineren Beschaffenheit des Nervensystems. Anat. Anz. 31, 481-544 (1907)

- Das leitende Element des Nervensystems. Mitt. zool. Stat. Neapel 12, 495 (1897)

- Über Neurofibrillen und ihre nervös-leitende Natur. Internat. Congr. of Zool. Cambridge 1898.

Bahr, G. F.: OsO_4 and Rutheniumtetroxyde and their reactions with biologically important substances. Exp. Cell. Res. 7, 457 (1954)

- The reactions of OsO_4 in relation to Electr. micr. Proc. Internat. Conf. Electr. micr. London 1954, S. 144.

Bargmann, W.: Bei Caesar: Elektronenmikroskopische Beobachtungen zum Verhalten der marklosen Nervenfasern im glatten Muskelgewebe. Anat. Anz. 105, Erg.-H., 90-100 (1958).

Bargmann, W. und A. Knoop: Elektronenmikroskopische Untersuchungen an Placentarzotten des Menschen. (Bemerkungen zum Syncytiumproblem). Z. Zellforsch. 50, 472-493 (1959).

Bargmann, W., M. v. Harnack und K. Jacob: Über den Feinbau des Nervensystems des Seesterns (Asteria rubens L.). Z. Zellforsch. 56, 573-594 (1962).

Bauer, K. Fr.: Beobachtungen über das Wachstum von Nervengewebe " in vitro ". Z. mikr.-anat. Forsch. 28, 47-80 (1932).

- Über die kontinuierlichen Gitterbildungen in Nervengewebskulturen. Z. mikr.-anat. Forsch. 39, 57-67 (1936).

- Zur Histologie der Nervenkulturen. Anat. Anz. 83, Erg.-H., 13-26 (1937).
- Über neurohistologische Untersuchungsmethoden. Nervenarzt 17, 60-65 (1944).
- Über die zwischenzellige Organisation des Nervengewebes. Z. Anat. Entwickl.-Gesch. 114, 53-66 (1948).
- Über einige Ergebnisse der Metallbeschattung usw. Z. wiss. Mikr. 60, 113-127 (1951).
- Organisation des Nervengewebes und Neurencytiumtheorie. Urban & Schwarzenberg / München-Berlin 1953.
- Methodik der Gewebezüchtung. Stuttgart: S. Hirzel 1954.

Bauer, K. Fr. und E. Müller: Die Zellenlehre. Med. Grundlagenforsch. 2, 167-193 (1959).

Bethe, A.: Allgemeine Anatomie und Physiologie des Nervensystems. Leipzig: Georg Thieme 1903.

Boeke, J.: Die periphere Endausbreitung des sympathischen Systems. Nova Acta Leopold. 2, 209-257 (1935).
- Innervationsstudien. X. Z. mikr.-anat. Forsch. 46, 488-519 (1939).
- Sympathischer Grundplexus contra Terminalretikulum. Acta neuroveg. (Wien) 2, 32-40 (1951).

Brücke, E.: Die Elementarorganismen. Wiener Sitzungsber. Jahrg. 1861, XLIV. 2. Abth.

Chambers, R. and E. L. Chambers: Explorations into the nature of the living cell. Published for the Commonwealth Fund by Harvard University Press Cambridge, Mass. 1961.

Charles, A. and J. T. Ingram: Electron microscope observations of the melanocyte of the human epidermis. J. biophys. biochem. Cytol. 6, 41-44 (1959).

Deitch, A. D. and M. R. Murray: The Nissle substance of living and fixed spinal ganglion cells. J. biophys. biochem. Cytol. 2, 433-444 (1956).

De Robertis, E.: The submicroscopic organization of the nerve axon as a basis of nerve function. Gaz. méd. portug. 7, 159-170 (1954).

- Histophysiologische Aspekte der Signalübermittlung im Nervensystem. Die Rolle der synaptischen Bläschen. Triangel, Sandozzeitschrift für medizinische Wissenschaft 5, 76-89 (1961).

Dolgo-Saburov, B. A.: Anastomoses between nerve cells. Trudy Inst. Eksper. Morfol. Akad. Nauk Gruz. SSR (Tbilisi) 6, 7-10 (1957).

Eichner, D.: Zur Frage der Neurofibrillen. Z. Zellforsch. 43, 501-512 (1956).

Esaki, S.: A sure method for the elective staining of neurofibrillae in tissues cultured vated in vitro. Z. wiss. Mikr. 46, 369-376 (1929).

Geiger, R. S.: Subcultures of adult mammalian brain cortex in vitro. Exp. Cell Res. 14, 541-566 (1958).

v. Gerlach, J.: Von dem Rückenmark. In Strickers Handb., Bd. 2, 665-693. Leipzig: Wilhelm Engelmann 1872.

- Das Verhältnis der Nerven zu den willkürlichen Muskeln. Leipzig: F. C. W. Vogel 1874.

Goebels, H.: Histologische Veränderungen des Nervensystems im Bereich des Hypothalamus nach experimentellen Eingriffen. Acta anat. (Basel) 30, 307-325 (1957).

Haddara, M.: A quantitative study of the postnatal changes in the packing density of the neurons in the visual cortex of the mouse. J. of Anat. 90, 494-501 (1956).

Hagen, E.: Über die Innervation der exkretorischen Drüsen und der langerhansschen Inseln des Pankreas beim Hund. Z. Zellforsch. 43, 486-500 (1956).

Hartmann, J. F.: An electron optical study of sections of central nervous system. J. comp. Neurol. 99, 201-249 (1953)

- Electron microscopy of motor nerve cells following sections of axones. Anat. Rec. 118, 19-34 (1954).

Haug, H.: Der Grauzellkoeffizient des Stirnhirns der Mammalia in einer phylogenetischen Betrachtung. Acta anat. (Basel) 19, 60-100, 153-190, 239-270 (1952).

- Der Grauzellkoeffizient der primären sensorischen Hirnrinde des Menschen. Anat. Anz. 102, 385-388 (1955/56).
Heidenhain, M.: Formen und Kräfte in der lebendigen Natur. (Beitr. VII zur synthetischen Morphologie). Vorträge und Aufsätze über Entwicklungsmechanik der Organismen 32, 1923.
Held, H.: Die Entwicklung des Nervengewebes bei den Wirbeltieren. Verlag Johann Ambrosius Barth, Leipzig 1909.
- Die Lehre von den Neuronen und dem Neurencytium und ihr heutiger Stand. Fortschr. naturwiss. Forsch. 1929.
Hensen, W.: Die Entwicklungsmechanik der Nervenbahnen im Embryo der Säugetiere. Kiel und Leipzig 1903.
Hermann, H.: Mikroskopische Beobachtungen über Altersveränderungen an menschlichen Herzganglien. Z. Anat. Entwickl 114, 685-719 (1950).
- Mikroskopische Studien über Altersveränderungen am Ganglion nodosum N. vagi des Menschen. Z. Zellforsch. 36, 151-170 (1951).
Hertwig, O.: Die Zelle und die Gewebe. Gustav Fischer, Jena 1893.
Hess, A.: The fine structure and morphological organization of non-myelinated nerve fibres. Proc. Roy. Soc. (Lond.), Ser. B, 144, 496-506 (1956).
Hild, W.: Das morphologische, kinetische und endokrinologische Verhalten von hypothalamischem und neurohypophysärem Gewebe in vitro. Z. Zellforsch. 40, 257-312 (1954)
- Das Neuron. Handb. d. mikrosk. Anatomie d. Menschen. Bd. IV/4, 1-184. Berlin-Göttingen-Heidelberg: Springer 1959.
Hoepke, H.: Die Haut. Handb. d. mikrosk. Anatomie d. Menschen. Bd. III/1, 1-116. Berlin 1927.
Horstmann, E.: Kernspezifische Synapsenformen und die Synapsenstruktur bei Teleosteern. Anat. Anz. 101, Erg.-H., 75-81 (1954/55).
- Familien- und kernspezifische Synapsenformen bei Teleosteern. Progress in neurobiology, S. 26-33. Amsterdam: Elsevier Publ. Comp. 1956.

Horstmann, E. und A. Knoop: Elektronenmikroskopische Studien an der Epidermis. I. Rattenpfote. Z. Zellforsch. 47, 348-362 (1958).

Keuning, F. J.: Histogenesis and origin of the autonomic nerve plexus in the upper digestive tube of the chick. Acta neerl. Morph. 6, 1-35 (1948).

Kugler, J. H. and J. B. Parkin: Continuity of Purkinje fibres with cardiac muscle. Anat. Rec. 126, 335-341 (1956).

Landau, E.: Peut-on parler de l'innervation de la cellule nerveuse? Vjschr. Naturforsch. Ges. Zürich 91, 253-261 (1946).

- Neuere Ergebnisse der Neurohistologie. Ergebn. med. Grundlagenforsch. 1, 587-598 (1956).

Levi, G.: Explantation, besonders die Struktur und die biologischen Eigenschaften der in vitro gezüchteten Zellen und Gewebe. Erg. Anat. Entwickl.-Gesch. 31, 125-707 (1934).

- Il comportamento dei componenti elementari del tessuto nervoso coltivati fuori dell'organismo. Ric. sci. 26, 1668-1677 (1956).

Levi, G. and G. Godina: The growth of nerve fibers in cultures. Anat. Rec. 136, 357 (1960).

Low, F. N.: The electr. micr. of sectioned lung tissue after varied duration of fixation in buffered OsO_4. Anat. Rec. 120, 827 (1954).

Luse, S. A.: Electron microscopic observations of the central nervous system. J. biophys. biochem. Cytol. 2, 531-542 (1956).

Meyer, G. F.: Interzelluläre Brücken (Fusome) im Hoden und im Ei-Nährzellverband von Drosophila melanogaster. Z. Zellforsch. 54, 238-251 (1961).

Oddo, F.: Sui caratteri e sul significato dei reticoli nervosi in colture affrontate di tessuto nervoso e miocardio. Boll. Soc. ital. Biol. sper. 17, 351-353 (1942).

Palade, G. E.: A study of fixation for electr. micr. J. exp. Med. 95, 285 (1952).

Palay, S. L. and G. E. Palade: The fine structure of neurons. J. biophys. biochem. Cytol. 1, 69-88 (1955).

Petry, G., L. Overbeck und W. Vogell: Vergleichende elektronen- und lichtmikroskopische Untersuchungen am Vaginalepithel in der Schwangerschaft. Z. Zellforsch. 54, 382-401 (1961).

Pirro, A. F.: Histological researches about the continuity of the Purkinje network with the ventricular musculature in the calf heart. Anat. Rec. 136, 259 (1960).

Porter, K. R. and F. Kallman: The properties and effects of osmium tetroxide as a tissue fixative with special reference to its use for electr. micr. Exp. Cell Res. 4, 127 (1953).

Purkinje: Jahrbücher für wissenschaftliche Kritik. 5, 33-38 (1840).

Reger, J. F., S. W. Smith and R. T. Schopp: The fine structure of mixed smooth and striated muscle in the iris of alligator miss.. Anat. Rec. 136, 345 (1960).

Reiser, K. A.: Die Nervenzelle. Handb. d. mikrosk. Anatomie d. Menschen. Bd. IV/4, 185-514. Springer: Berlin-Göttingen-Heidelberg 1959.

Scharf, J. H.: Lipoid-Grenzmembranen multipolarer Ganglienzellen (dargestellt am Nucleus olivae des Menschen). Anat. Anz. 98, Erg.-H., 108-119 (1951).

- Neuronenlehre und Retikulumtheorie als mögliche Bauprinzipien des Nervensystems. Wiss. Z. Univ. Halle, Math-Nat. IX/1, 81-98 (1960).

Schiebler, T. H. und A. Knoop: Elektronenmikroskopische Untersuchungen zum Bau der Rattenplacenta. Verh. Anat. Gesell. 1959, 82-88.

Schleiden, M.: Beiträge zur Phytogenesis. Müllers Archiv 1838.

Schultze, M.: Über Muskelkörperchen und was man eine Zelle zu nennen habe. Archiv für Anatomie und Physiologie 1861.

Schultz, R. L., E. A. Maynard and D. C. Pease: Electron microscopy of neurons and neuroglia of cerebral cortex and corpus callosum. Amer. J. Anat. 100, 369-408 (1957).

Schwann, Th.: Mikroskopische Untersuchungen über die Uebereinstimmung in der Structur und dem Wachsthum der Thiere und Pflanzen. 1839.

Segal, J.: Die Erregbarkeit der lebenden Materie. VEB Gustav Fischer Verlag, Jena 1958.

Spatz, H.: Neuronenlehre und Zellenlehre. Zur 100. Wiederkehr des Geburtstages von S. Ramón y Cajal am 1. Mai 1952. Münch. med. Wschr. 94, 1153-1164, 1209-1218, 1255-1262 (1952).

Stohr jr, Ph.: Das periphere Nervensystem. Handb. d. mikrosk. Anatomie d. Menschen, Bd. IV/1, 202-447 (1928).
- Mikroskopische Anatomie des vegetativen Nervensystems. Handb. d. mikrosk. Anatomie d. Menschen, Erg. z. Bd. IV/1. Berlin: Springer 1957.

Thaemert, J. C.: Intercellular bridges as protoplasmic anastomoses between smooth muscle cells. J. biophys. biochem. Cytol. 6, 67-70 (1959).

Troschin, A. S.: Das Problem der Zellpermeabilität. VEB Gustav Fischer Verlag. Jena 1958.

Van der Zypern: Die nervöse Versorgung von Lunge und Herz. Ärztl. Prax., Jahrg. XV, 15, 913-914 (1963).

Waldeyer, W.: Über einige neuere Forschungen im Gebiete der Anatomie des Centralnervensystems. Dtsch. med. Wschr. 17, 1213-1218, 1244-1246, 1267-1269, 1331-1332, 1352 bis 1356 (1891).

Abbildungen

Bei der Drucklegung wurden die Vorlagen von Din A 4 auf Din A 5 verkleinert. Dadurch verändern sich die angegebenen Vergrößerungen im gleichen Verhältnis.

Abb. 3: Dünnschnitt aus der Hirnrinde einer neugeborenen weißen Maus. Zwischen den Kernen (N) II und III liegt eine osmiophile membranartige Struktur (S), die durch eine Anastomose (Pfeil) unterbrochen wird. Die Kernmembranen (KM) sind unverletzt. Die Kerne III und IV im linken Bildteil sind symplasmaartig verbunden. M = Mitochondrien. ER = endoplasmatisches Retikulum. Die Strukturen ZF gehören wahrscheinlich zur schwach entwickelten zwischenzelligen Organisation. Vergrößerung: 17 000 x. Text: S. 16

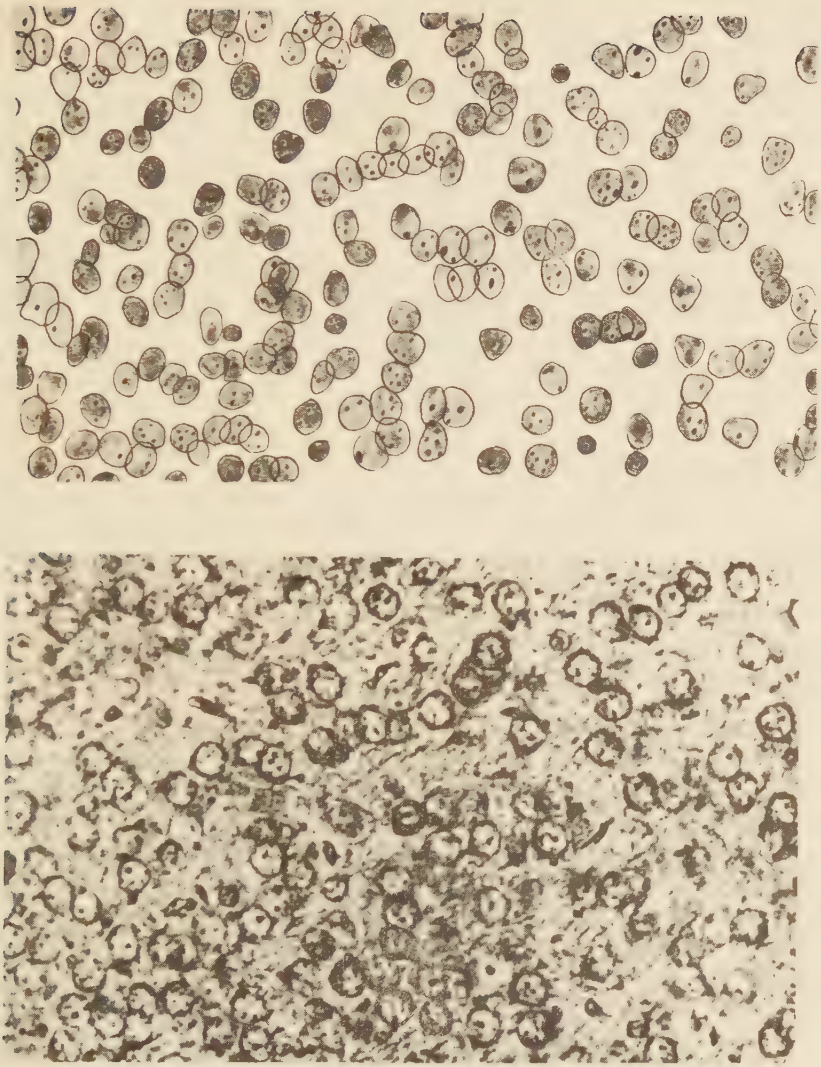


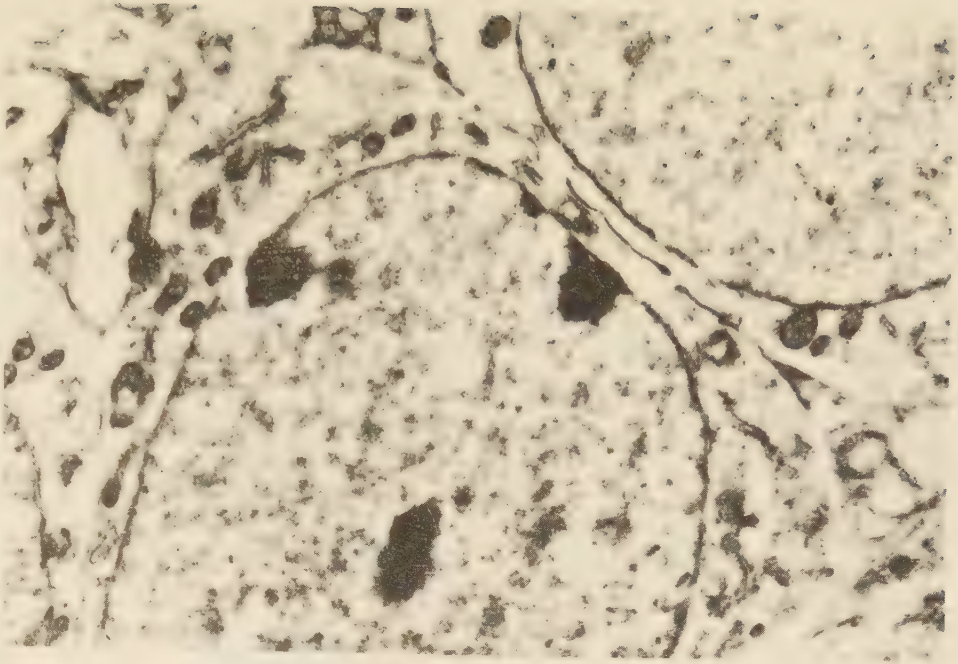
Abb. 1: Paraffinschnitt aus der Hirnrinde (Parietallappen) einer 5 Tage alten Maus. Nisslfärbung. Die Zeichnung zeigt noch besser als die Photographie die dichte Lagerung der Zellkerne. Vergr. etwa 600 x.
(Text S. 4).

Abb. 2: Zwei miteinander anastomosierende Zellen aus der Rautengrube eines Kalbes. Anastomose (Pfeile) und Überkreuzung (Ue) sind im Mikroskop deutlich zu unterscheiden. Ein Fibrillenbündel (F) schickt Neurofibrillen (N) in die Anastomose, in der sie besonders gut zu erkennen sind. G = Gliazellkerne, D = Dendriten. Bodianfärbung.
Vergrößerung der Photographie: 1 500 x. Die Zeichnung wurde unter Ölimmersion fast doppelt vergrößert angefertigt.
Text S. 15

D
Ue
G
N
Ue
F

Abb. 4: Elektronenmikroskopische Aufnahme aus dem Griseum einer 5 Tage alten weißen Maus. Die Kerne (N) der drei Ganglienzellen liegen in einem Symplasma. Membranöse Strukturen (S) sind nur angedeutet. Sie werden durch viele Anastomosen (Pfeile) unterbrochen. Die Kernmembran ist intakt. KM = Kernmembran, Nu = Nukleolus, M = Mitochondrien. Vergrößerung: 18 000 x. Text: S.16.

Abb. 5: Zwei Nervenzellen aus der Hirnrinde einer 8 Tage alten weißen Maus. Die elektronendichte membranartige Struktur (S) ist durch mehrere Neurodesmen (Pfeil) unterbrochen. Die Kernmembran (KM) ist unverletzt. Nu = Nukleolus, M = Mitochondrien. ZF = Anschnitte von Zellfortsätzen. Vergrößerung: 17 000 x. Text S. 17



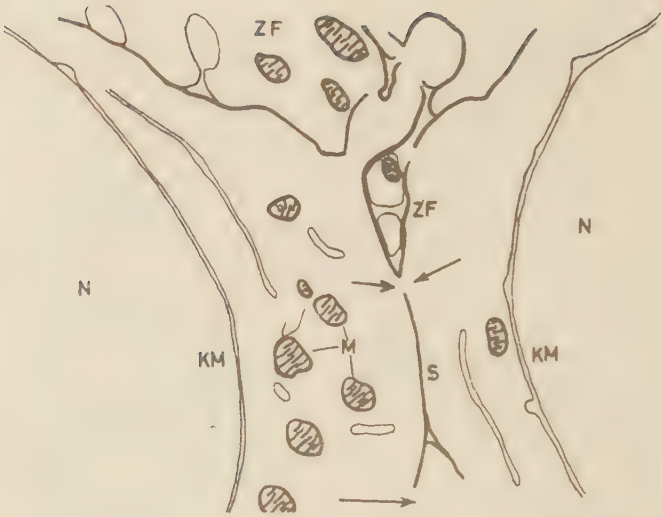


Abb. 6: Dünnschnitt aus der Hirnrinde einer 8 Tage alten weißen Maus. Zwischen der elektronendichten Membran und der vorrückenden zwischenzelligen Organisation (ZF) liegt eine Anastomose (Pfeil). Die Kernmembranen (KM) sind intakt. N = Zellkern. M = Mitochondrien. S = Membran. Vergrößerung: 21 800 x. **Text: S. 18**

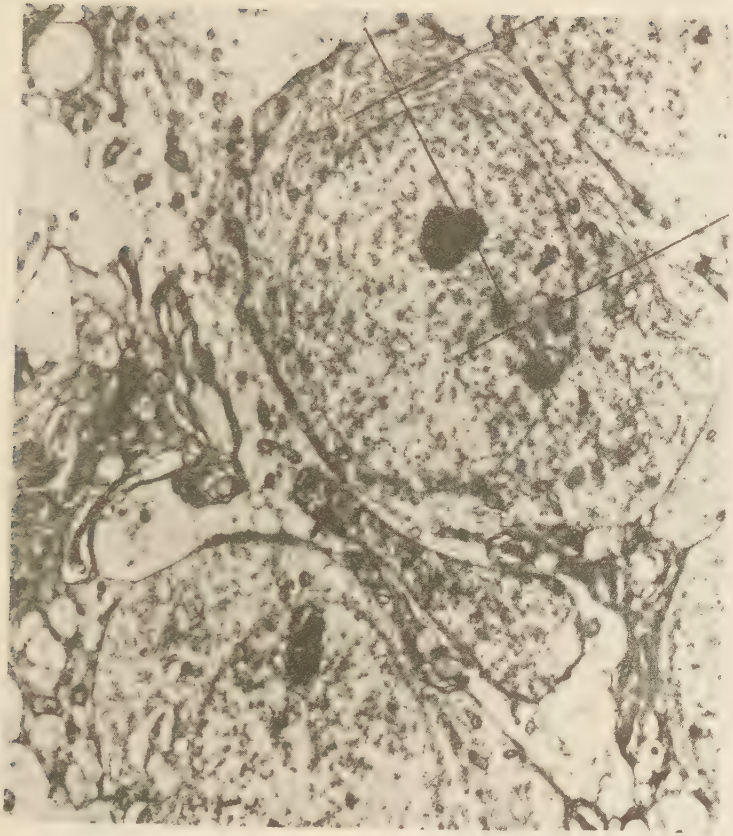


Abb. 7: Übersichtsaufnahme für die Abbildung 8. Dünnschnitt aus der Hirnrinde einer 14 Tage alten weißen Maus. Das eingerahmte Gebiet bezeichnet Abbildung 8. Vergrößerung: 6 750 x.

Abb. 8: Detailaufnahme aus Abb. 7. Zwei Nervenzellen aus der Hirnrinde einer 14 Tage alten weißen Maus sind durch Neurodesmen (Pfeil) miteinander verbunden. Die zwischenzellige Organisation (ZF) ist zwischen die Zellen vorgedrungen. Das Protoplasma der Zellfortsätze enthält Mitochondrien (M). KM = Kernmembran. N = Kern. Nu = Nukleolen.
Vergrößerung 21 000 x.

Text: S. 18

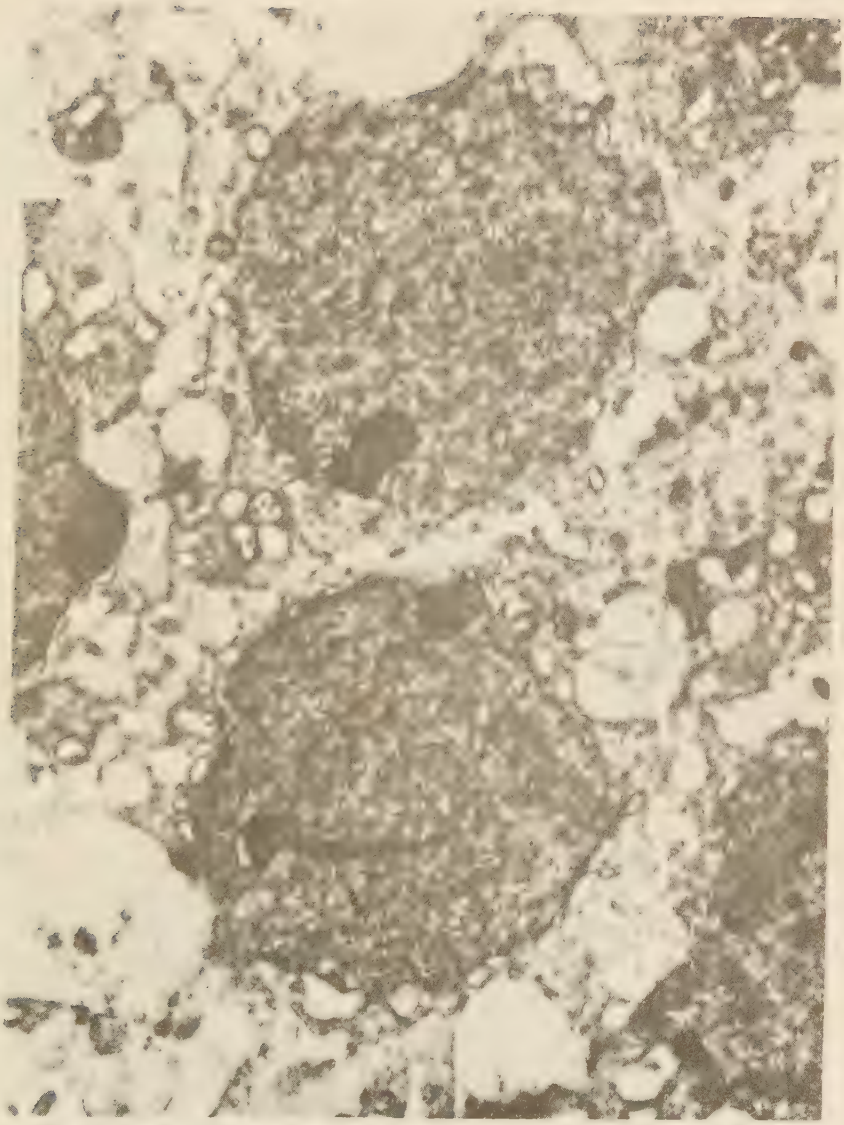
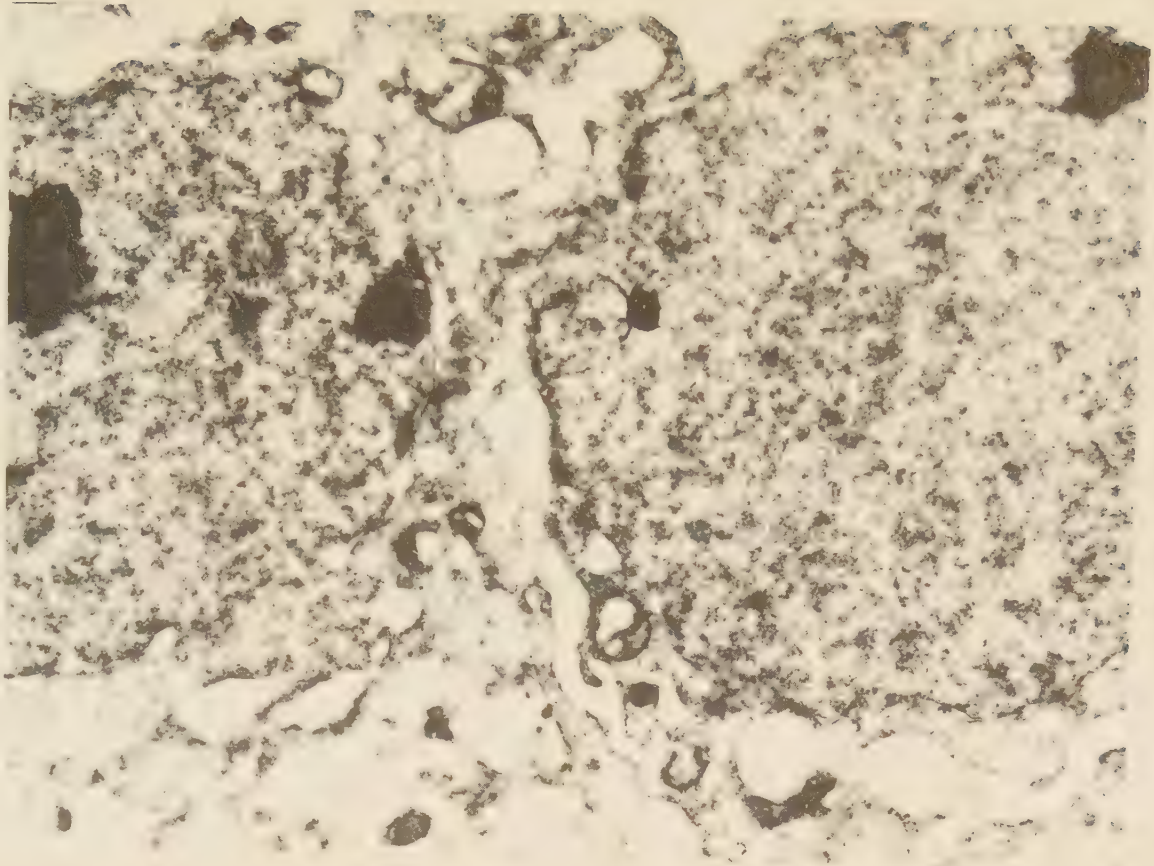


Abb. 9: Dünnschnitt aus dem Großhirn einer 5 Tage alten weißen Maus. Es wurde das Grenzgebiet zwischen Griseum und Album getroffen. Vier Gliazellkerne (dunkles Karyoplasma) liegen in einer gemeinsamen Protoplasmamasse.
Erklärung im Text S. 19
Vergrößerung: 10 125 x.

Abb. 10: Elektronenoptische Aufnahme aus dem Großhirn einer 5 Tage alten weißen Maus. Zwei Gliazellkerne (N) mit Nukleolen (Nu) besitzen ein gemeinsames Protoplasma. Eine Grenzmembran (S) ist nur angedeutet. Die Pfeile zeigen auf eine besonders breite Gliodesme zwischen den vakuolenartigen Strukturen.(ER). M = Mitochondrien. KM = Kernmembran. ZF = Zellfortsätze (Neuriten, Dendriten usw.).
Vergrößerung: 18 000 x. Text S. *20*



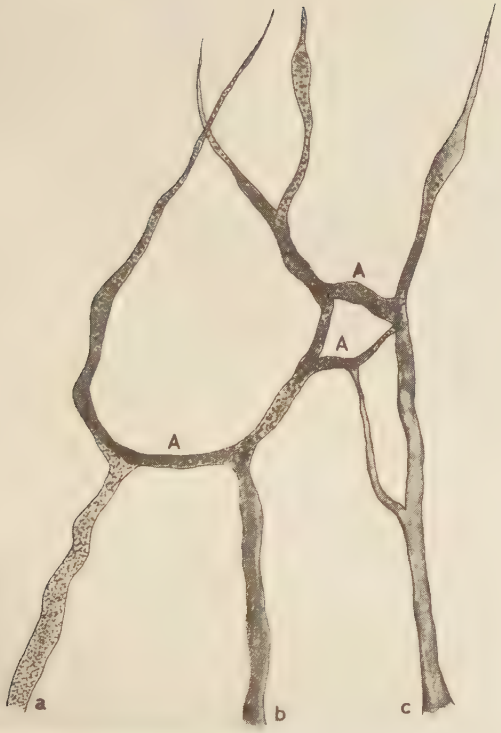


Abb. 11: Aus der Peripherie einer Nervengewebskultur. Die frei endigenden Axone a (gekörntes Protoplasma), b (rotgefärbtes Plasma) und c (homogenes Plasma) gehen Anastomosen (A) untereinander ein. An den Orten der Anastomosen findet ein Substanzaustausch statt, so daß die aus der Anastomose hervorgehenden Nervenbahnen eine neue Zusammensetzung aufweisen. Text: S. *21*
(Nach K. Fr. Bauer 1953).

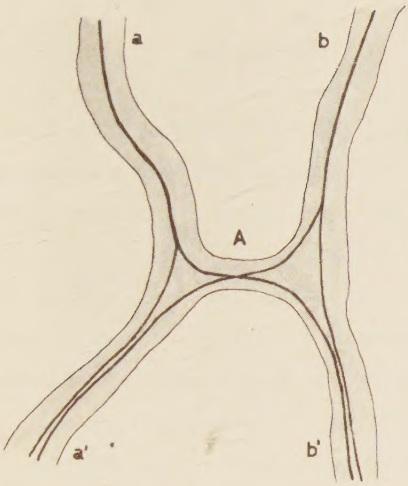


Abb. 12: Zwei Nervenfasern a (rote Neurofibrillen) und b (schwarze Neurofibrillen) sind durch eine Anastomose (A) miteinander verbunden. Am Ort der Anastomose kommt es zum Neurofibrillenaustausch. Die aus der Anastomose hervorgehenden Nervenfasern a' und b' besitzen Neurofibrillen aus beiden Nervenfasern a und b. Schematische Skizze. Text: S. 21

Lebenslauf

Am 9. 2. 1937 erblickte ich, Etzard Schwalbe, als Sohn des Ingenieurs Helmut Schwalbe und seiner Ehefrau Elfriede geborene Ott in Obercrinitz im Erzgebirge das Licht der Welt.

Von 1943 - 1951 besuchte ich die Grundschule in Netzschkau im Vogtland und anschließend die Goethe-Oberschule zu Reichenbach / Vogtland. Dort legte ich im Jahre 1955 die Reifeprüfung ab.

In einem Sonderlehrgang bereitete ich mich ab Oktober 1955 in Berlin-Steglitz auf die Ergänzungsprüfung zum Abitur vor, die ich im August 1956 bestand.

Im November 1956 schrieb ich mich an der Universität Erlangen für das Fach Medizin ein. Hier legte ich im Februar 1959 die Ärztliche Vorprüfung ab und beendete im August 1962 mein Studium mit der Ärztlichen Prüfung, die ich mit der Note "sehr gut" bestand.

Seit 1. Januar 1963 bin ich am Anatomischen Institut der Universität Erlangen-Nürnberg als Medizinalassistent beschäftigt.

GEDRUCKT BEI LUDWIG MÜLLER ERLANGEN